

发电机转子接地保护测量电路的设计

梅成林, 尹项根, 张侃君

(华中科技大学电气与电子工程学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 基于发电机转子接地保护的要求以及相关文献中几种乒乓式发电机转子接地保护电路的分析, 确定了一种乒乓式发电机转子接地保护测量电路的设计方案, 详细介绍了直流电压测量电路的电路实现、各主要环节的特征以及参数设计, 提出了一种简单可靠的乒乓式切换开关电路的设计方案, 并对该方案进行了分析。基于该设计方案, 已经开发出一套微机保护装置, 保护装置经过了动模试验以及现场运行, 结果表明, 该方案具有较高的灵敏性和可靠性, 满足了实际的应用需要。

关键词: 发电机转子; 接地故障; 电路设计

中图分类号: TM772 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2006)18-0058-04

0 引言

发电机转子由于其内部受潮、氢内冷介质的阻塞、机械振动等原因, 可能会造成转子绕组的绝缘受到损坏, 出现接地故障。转子绕组一点接地故障对发电机本身并不会造成严重的危害, 但若再相继发生第二点接地故障, 将严重威胁发电机的安全, 因此必须装设转子接地保护。

根据发电机转子接地保护的要求, 一些发电机转子接地保护原理^[1]已被采用, 在这些保护原理中, 由于乒乓式励磁回路接地保护灵敏度较高、可靠性较好而被广泛应用于微机保护装置中。乒乓式励磁回路接地保护不仅能测定一点接地故障电阻的大小和故障点的位置, 并且能够根据故障点位置的变化来判断是否发生转子两点接地故障。为了将该原理方案应用于实际, 本文结合现在工业所能提供的条件, 提出了一种乒乓式发电机转子接地保护测量和切换电路的设计方案。

1 乒乓式转子接地保护原理简介

首先, 对乒乓式转子绕组接地保护原理进行简要介绍。

1.1 乒乓式转子绕组一点接地保护

乒乓式转子绕组一点接地保护基本原理如图 1 所示^[1]。

图 1 中 S1 和 S2 为微机控制的联动电子开关。装置工作过程中, S1 和 S2 轮流导通。正实数 反映励磁绕组接地故障点到负极性端的百分比, 0

1。

假设在励磁绕组中 (B 点) 发生了转子一点接地故障, 保护装置通过控制两个电子开关的轮流导通, 可得到两次励磁电压 (U_f 和 U_f') 和取样电阻 R_C 两端电压 (U_1 和 U_2) 的测量值, 然后通过列写回路方程, 可求解接地故障电阻 R_f 和故障位置。

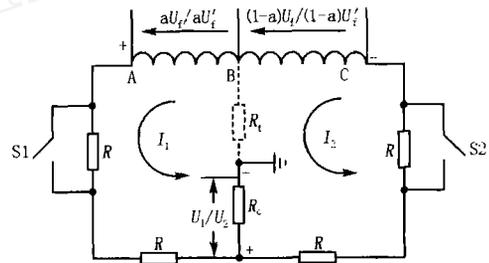


图 1 切换式转子一点接地保护原理图

Fig 1 Protection scheme for one-point grounding fault of generator exciting motor

接地电阻值:

$$R_f = \frac{U_f R_C}{3 U} - R_C - \frac{2R}{3} \quad (1)$$

故障点位置:

$$= \frac{1}{3} + \frac{U_1}{3 U} \quad (2)$$

式 (1) 和式 (2) 中:

$$U = U_1 - \frac{U_f}{U_f'} U_2 \quad (3)$$

转子一点接地保护动作判据为:

$$R_f < R_{f \text{ set}} \quad (4)$$

2 保护测量电路的设计

根据转子接地保护的原理, 保护测量电路包括

直流电压测量电路和乒乓切换电路。

2.1 直流电压测量电路的设计

直流电压的测量包括励磁电压的测量和取样电阻 R_c 两端电压的测量。

直流电压的测量和励磁电压的测量原理相同,下面以励磁电压的测量为例,设计一个直流电压测量的原理电路。

励磁电压测量原理电路图^[2]如图 2 所示。

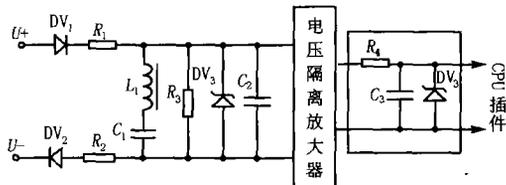


图 2 直流电压测量电路原理图

Fig 2 Circuit of DC voltage measuring

图 2 中的电路主要由滤波环节、分压环节、隔离环节和电路保护环节所组成。以下将对这些环节进行分别阐述。

2.1.1 保护环节

二极管 DV_1 、 DV_2 为保护环节,防止励磁电压极性意外反接,各二极管的耐压值应不低于强励电压值。

2.1.2 滤波环节

$L_1 C_1$ 构成特征谐波频率的串联谐振回路,滤除掉自整流桥整流输出中的六次谐波。根据串连谐振频率关系 $\omega = 1/\sqrt{L_1 \cdot C_1}$ 可导出电感值的计算公式为:

$$L_1 = (1/2 k_f^2) / C_1 \quad (5)$$

2.1.3 分压环节

由电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 构成分压电路。分压比可按下面的公式来选取:

$$\frac{R_1 + R_2 + R_3}{R_3} = \frac{K_U U_{f \text{ exi}}}{U_i} = \frac{K_U K_{\text{exi}} U_{f \cdot n}}{A_v \cdot U_{\text{a AD}} / K_{\text{AD}}} \quad (6)$$

其中: K_U 、 K_{exi} 、 $U_{f \text{ exi}}$ ($K_{\text{exi}} U_{f \cdot n}$) 分别为输入电压裕度系数、强励倍数和强励电压。而 A_v 、 $U_{\text{a AD}}$ 、 K_{AD} 分别为隔离放大器的放大倍数、微机保护装置 A 通道 (即 A/D 变换部分) 的最大输入电压和完成 A/D 变换不产生溢出的裕度系数。选取电阻时,使 $R_1 = R_2$ 。

2.1.4 隔离环节

为了提高保护装置稳定性,转子电压信号在进入保护测量装置之前需要经过隔离。目前,使用较普遍的电压隔离传感器主要有霍尔元件和隔离放大器。根据实际情况,本方案采用了 AD210 型隔离放大器作为电压隔离变换元件。

2.2 切换式控制电路的设计

2.2.1 控制电路原理介绍

电子开关的选择主要需要考虑以下几个方面的技术要求:

- 电子开关可能承受较大电压,在强励情况下会承受更大电压,因此对电子开关的耐压要求较高;
- 电子开关关断时漏电流要小;
- 开关导通压降尽量低;
- 频率特性要求不高。

根据以上要求:乒乓式切换电路有以下几种选择方案:

- 基于简单光隔控制和功率三极管或 MOSFET 开关电路;
- 带专用驱动模块的功率三极管开关电路;
- 采用 MOSFET 或者 IGBT 开关电路。

从电子开关的技术要求和经济角度考虑,本文采用了 a 方案,选用光隔驱动 MOSFET 开关电路。

图 3 为采取 MOSFET 开关电路作为乒乓切换开关的原理图。

图 3 中的乒乓切换电路由两个部分组成:电平控制部分和乒乓开关电路部分。

电平控制部分包括光隔 D_1 和 D_2 的弱电部分。控制电平 1 和 2 是保护装置的 CPU 插件的开出量信号,来自于 CPU 插件经光隔输出;控制电平使用 +5 V 的上拉电平,该电平可由 +24 V 的继电器操作电源经 DC/DC 电源隔离变换器或三端稳压电源转换而来;电阻 R_5 、 R_6 为上拉电阻,一般采用 10 k 电阻;电阻 R_1 、 R_2 为限流电阻,以限制光隔中流过发光二极管的电流,阻值一般选为 10 k。

乒乓开关电路部分包括光隔 D_1 和 D_2 的强电部分。电阻 R_3 和 R_4 为高阻,在光隔导通时,提供给 MOSFET 栅极和源极电压,驱动 MOSFET 管导通;在光隔截止时,使 MOSFET 管的栅极和源极的电压相等,有助于控制 MOSFET 管的快速截止。稳压管 DV_1 、 DV_2 和电容 C_1 和 C_2 并联于 MOSFET 两端,防止暂态过电压损坏 MOSFET。

对不同的控制电平 a、b,得到的信号 c 和 d 的电平及电子开关状态如表 1 所示。

表 1 开关的开断与控制电平的关系

Tab 1 Relation between switch state and control value					
a	0	0	1	1	悬空
b	0	1	0	1	悬空
c	1	1	0	1	1
d	1	0	1	1	1
S1	断开	断开	导通	断开	断开
S2	断开	导通	断开	断开	断开

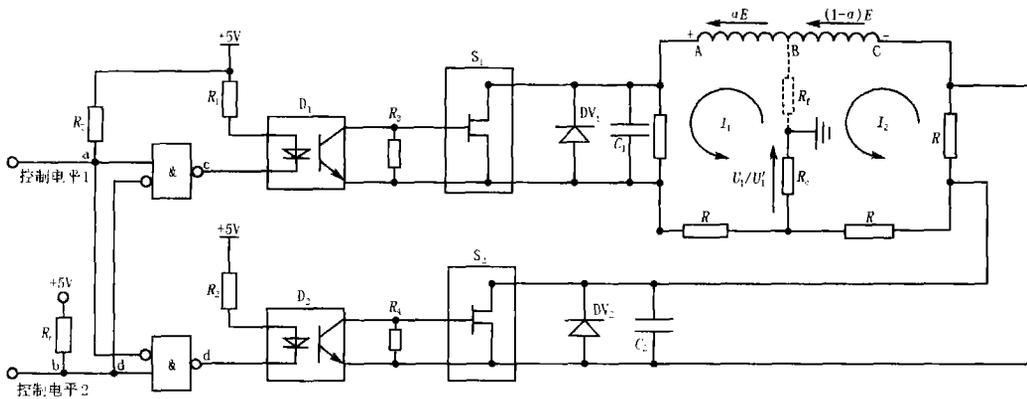


图 3 乒乓切换开关电路图

Fig 3 Circuit of ping-pong switch

如表 1 所示,当控制电平 a 和 b 都为低电平或悬空状态时,输出电平 c 和 d 都为高电平,此时, MOSFET 截止,即 S1 和 S2 都断开;当控制电平 1 和 2 都为高时,输出电平 c 和 d 也都为高电平,与控制电平都为低的情况相同;当控制电平 1 为低,控制电平 2 为高时,输出电平 c 为高电平, d 为低电平,此时 MOSFET 管 S1 截止, S2 导通;当控制电平 1 为高,控制电平 2 为低时,输出电平 c 为低电平, d 为高电平,此时 MOSFET 管 S1 导通, S2 截止。可见,当控制电平相同时,电子开关 S1 和 S2 都断开;当控制电平不同时,才能使乒乓切换电路正常工作。

2.2.2 误差分析

当 MOSFET 管截止时,由于有一定泄漏电流的存在,将会引起接地电阻的计算误差。以图 1 为例,假设在励磁绕组中点发生一点接地故障,接地故障电阻为 20 k ,在开关切换过程中励磁电压 E 保持不变,电路参数取为: E 为 390 V ,电阻 R 、 R_c 分别为 10 k 、 200 。当不考虑开关泄漏电流时,在开关相邻两次切换过程中,计算得到的取样电阻 R_c 两端的电压差为: $U = 0.9762\text{ V}$ 。但是,由于有泄漏电流的存在,因此 R_c 两端的实际电压值的求取将有所不同。为简化计算,假设不同切换过程中,两个开关的泄漏电流 $I_{S1} = I_{S2}$ 。则在开关切换过程中, R_c 两端的实际电压值为:

$$\begin{aligned} U_1 &= (I_1 - I_2 - I_{S2}) R_c \\ U_2 &= (I_1 + I_{S1} - I_2) R_c \end{aligned} \quad (7)$$

故实际 $U = U - (I_1 + I_2) R_c$,假设泄漏电流为 $100\text{ }\mu\text{A}$,则 $U = 0.9762 - 0.02 = 0.9562\text{ V}$,由式 (3) 可解得此时的接地电阻值为:

$$R_f = \frac{390 \times 0.2}{3 \times 0.9562} - 0.2 - \frac{20}{3} = 20.324\text{ k}$$

接地电阻误差可计算得:

$$= \frac{20.324 - 20}{20} \times 100\% = 1.62\%$$

误差在允许范围内,该电路满足要求。

2.3 动模实验记录

利用该方案设计的测量电路的动模实验中,设定转子一点接地动作值 R_{se} 为 40 k ,在励磁绕组正极分别经金属接地、 10 k 、 20 k 、 30 k 、 40 k 接地时,保护装置均正确动作;在励磁绕组正极接 50 k 、 60 k 时,保护均未动作。

3 结论

本文根据乒乓式转子接地保护原理,提出了一种乒乓式发电机转子接地保护测量和切换电路的设计方案,在对本方案进行阐述和分析的基础上,得出了如下结论。

a 直流电压测量回路采用隔离放大器作为电压变换元件,电路原理简单,易于实现,且满足实际需要。

b 乒乓切换电路采用光隔驱动 MOSFET 实现乒乓切换功能,由该电路结构简单,测量精度满足实际需要。

目前该电路方案已用在实际保护装置中,保护装置已投入运行,运行状况良好。

参考文献:

- [1] 王维俭. 电气主设备继电保护原理与应用 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2002
WANG Wei-jian Relay Protection of Electrical Main Equipment Their Principle and Application [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2002

- [2] 夏勇军,尹项根. 发电机乒乓式转子接地保护电路设计[J]. 电力自动化设备, 2004, 24(12): 52-55.
XIA Yong-jun, YN Xiang-gen. Circuitry Design of Ping-pong Type Grounding Fault Protection for Generator Rotor[J]. Electric Power Automation Equipment, 2004, 24(12): 52-55.
- [3] 郭光荣. 发电机转子励磁绕组接地保护[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(20): 73-76
GUO Guang-rong. The Earth-Fault Protection of Generator Rotor Field Coil[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(20): 73-76

收稿日期: 2006-03-17; 修回日期: 2006-05-19

作者简介:

梅成林(1981-),男,硕士研究生,从事中小型发电机微机保护装置的研究;E-mail: cmeihappy@sohu.com

尹项根(1954-),男,教授,博士生导师,从事电力系统继电保护,变电站自动化及电力系统控制的研究与教学工作;

张侃君(1977-),男,博士研究生,主要从事电力系统继电保护装置的研究工作。

A circuitry design of ping-pong type grounding fault protection for generator rotor

MEI Cheng-lin, YN Xiang-gen, ZHANG Kan-jun

(Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: According to the need of grounding fault protection for generator rotor and relevant analysis from some papers, the measuring circuitry design scheme is proposed, the method of the circuit design and the functions and parameters of the main parts are introduced. A simple and practical scheme for the design of ping-pong circuit is designed, and the analysis is introduced in detail. Based on the scheme, a microprocessor-based protection scheme is put forward. And the protection has been testified by the dynamic experiment and operation. The experiment data shows that the relay has good reliability and sensitivity.

Key words: generator rotor; grounding fault; circuitry design

作者声明

由于本人的疏忽,刊登在《继电器》杂志 2006 年第 16 期第 61 页“基于 TPLAN 的中国南方电网可靠性与经济性评估”一文中所附的系统设备可靠性参数有误,现予以更正,由此对大家造成的不便深表歉意!

表 A 发电机可靠性参数(以火电机组为例)

Tab. A Reliability data of generator unit (thermal unit)

机组容量 /MW	停运率	MTTR/h	计划检修时间/ (月/年)
< 100	0.02	22	1.0
100 - 200	0.04	30	1.2
200 - 300	0.05	50	1.4
300 - 400	0.08	80	1.6
500 - 800	0.12	100	1.8
> 800	0.18	150	2.0

表 B 输电线路可靠性参数

Tab. B Reliability data of transmission line

电压等级 /kV	故障率/ (次/百公里·年)	MTTR/h	计划检修时间/ (h/年)
500	0.25	17	100
330	0.30	16	50
220	0.35	13	44
110	0.71	9	35

表 C 变压器可靠性参数

Tab. C Reliability data of transformer

电压等级 /kV	故障率/ (次/年)	MTTR /h	计划检修时间/ (h/年)
500	0.040	200	70
330	0.035	200	60
220	0.022	150	55
110	0.015	90	43

作者:王超
2006年9月8日